

d.kostic

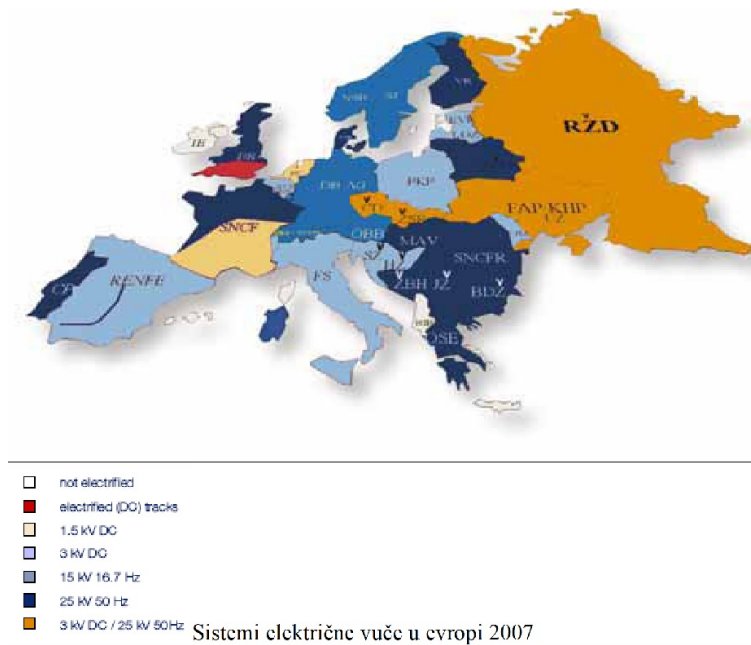
March 2020

1 Elektroenergetska postrojenja

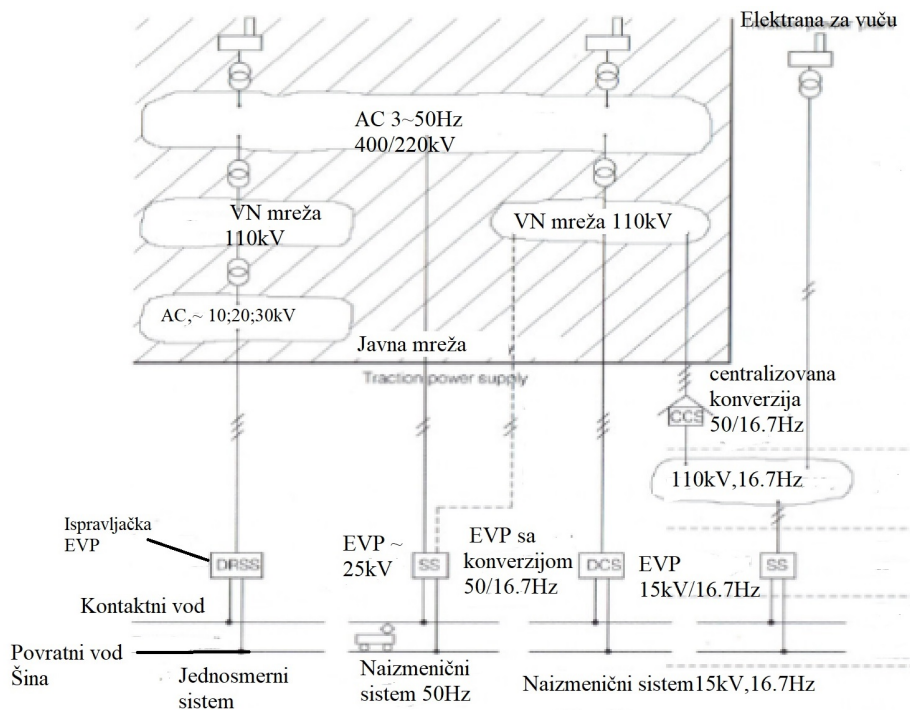
Elektroenergetska postrojenja na železnici predstavljaju važnu komponentu infrastrukture čija je namena da obezbedi sigurno i pouzdano snabdevanje električnom energijom mobilnih vučnih sredstva i ostalih postrojenja u okviru železničke mreže kao što su objekti u sastavu železničkih stanica dispečerskih centara, signalno sigurnosni uređaji i slično. Sistem električnog napajanja kojim se obezbeđuje energija za rad elektrovučnih vozila na mreži elektrifikovanih pruga naziva se sistem električne vuče i on čini glavni deo gradiva koji proučavamo u ovom poglavlju. Sistemi električne vuče u Evropi mogu se kalsifikovati prema vrsti električnog napona napajanja dve grupe:

- Sistemi električne vuče sa jednosmernim naponima napajanja.
- Sistemi električne vuče sa naizmeničnim naponima napajanja.

Jednosmerni sistemi električne vuče na železnici građeni su za napone od 1500V i 3000V. Ovakvi sistem su odabrani onda kada je dominantan vučni motor u električnim lokomotivama bio jednosmena električna mašina. Kako je snaga električne vuče koja se dovodi do vozila pri konstantnom naponu napajanja proporcionalna intenzitetu električne struje i kako je poprečni presek nadzemnih provodnika takođe proporcionalan intenzitetu struje onda je logično da jednosmerni sistemi od 3000 V pri istom poprečnom preseku provodnika dopuštaju prenos dvostruko veće snage nego što je to slučaj sa 1500V jednosmernog napona. Napomenimo da su jednosmerni sistemi napajanja karakteristični i za tramvajsku i trolejbusku kontaktnu mrežu ali su naponski nivoi kod ovih sistema niži nego što je to slučaj kod železničkih elektro vučnih vozila i iznose 600V što je to slučaj u Beogradu ili 750 V što je slučaj u mnogim evropskim gradovima. Naizmenični sistemi električne vuče razlikuju se kako po efektivnoj vrednosti naizmeničnog napona tako i po učestanosti. U Evropi su zastupljeni naizmenični sistemi električne vuče $25kV$, $50Hz$ i $15kV$ $16\frac{2}{3}Hz$. Prvi od pomenutih naizmeničnih sistema koristi električnu energiju industrijske učestanost. Njegovo napajanje je iz javne visokonaponske elektroprivredne mreže kao što je to prikazano na slici (2) dok učestanost $16\frac{2}{3}Hz$ drugog sistema je bila osnova za izgradnju autonomnog elektroenergetskog sistema specijalno namenjenog za električnu vuču koji nije deo javne elektroprivredne mreže. Kao što je prikazano na slici (1) primarno napajanje sistema električne vuče đajima $15kV$, $16\frac{2}{3}Hz$ je najčešće ipak javna elektroprivredna mreža sa specijalnim uređajima za naponsku i frekventnu konverziju električne energije. Na slici(2) su prikazani sistemi električne vuče na prostoru Evrope: 2007



Slika 1: Sistemi električne vuče u Evropi



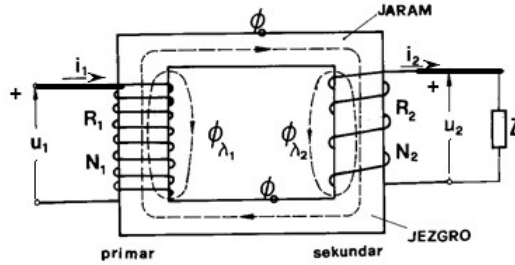
Slika 2: Elektroenergetski sistemi za željeznicu

Na slici (2) uočava se da se električna energija više puta transformiše dok se ne dovede na one vrednosti napona i učestanosti koji su upotrebljivi za napajanje elektrovučnih vozila. Transformatori su električni uređaji bez pokretnih delova koji primenom statičke elektromagnetne indukcije pretvaraju električnu energiju naizmjenične struje određenog napona i

struje u električnu energiju iste vrednosti, ali drugog napona i druge struje. Pri tome su sopstveni gubici energije u transformatoru veoma mali. Prenos električne energije na veća rastojanja bio bi nemoguć bez primene transformatora. U elektranama, naizmenični napon generatora od oko $10kV$ do $15kV$ transformiše se u napon od $110kV$, $220kV$ ili $400kV$. Električna energija se prenosi visokim naponom i na strani potrošača postepeno snižava primenom više transformacija. Pri višem naponu, manja je struja u dalekovodu, a samim tim manji su i gubici u bakru. Na primer, u provodnicima dalekovoda napona $3 \times 400kV$, električna struja je 1000 puta manja od električne struje koja bi postojala kada bi se ista snaga prenosila naponom od $3 \times 400V$. Pri zadatoj otpornosti dalekovoda, gubici energije su milion puta manji.

1.0.1 Transformatori

Transformatori su našli primenu kod različitih industrijskih postrojenja za povećanje i smanjenje napona i struje. Od velikog je značaja primena transformatora u prenosnim sistemima i distribuciji električne energije, automatici, telemehanici, elektronici. Od ne manjeg značaja je i primena transformatora u mernoj tehnici, naročito kada su u pitanju visoki naponi i struje velikog intenziteta kao što je to slučaj u vučnim sistemima. Transformator se sastoji iz dva namotaja izolovane provodne žice, obično bakarne, koji nisu međusobno galvanski spojeni. Između namotaja postoji induktivna veza preko zajedničkog magnetnog fluksa Φ_0 kao što je to prikazano na uprošćenoj šemi na slici (3) Namotaj kome se dovodi električna energija naziva se primarni namotaj ili skraćeno primar, dok se namotaj sa koga se odvodi električna energija naziva sekundarni namotaj ili sekundar transformatora. Da bi magnetna sprega bila što jača, oba namotaja se postavljaju preko gvozdenog jezgra sastavljenog od tankih limova relativno velikog magnetnog permeabiliteta. Na taj način postiže se veća vrednost magnetne indukcije i zajedničkog fluksa. Naime, gvožđe ima magnetnu propustljivost nekoliko hiljada puta veću od magnetne propustljivosti vazduha, pa se istom strujom i istim brojem navojaka namotanih na gvozdeno jezgro postiže znatno veća magnetna indukcija, a time i magnetni fluks. Gvozdeno jezgro transformatora je obično četvrtastog i zatvorenog oblika, što znači da se linije zajedničkog fluksa Φ_0 zatvaraju pretežno kroz gvožđe. Deo magnetnog fluksa primarnog i sekundarnog namotaja se rasipa u vidu dela magnetnog fluksa koji ima zatvorene linije kroz vazduh i to u okolini svakog namotaja posebno. Rasipni fluksevi za primarni namotaj i sekundarni namotaj označeni su sa $\Phi_{\lambda 1}$ i $\Phi_{\lambda 2}$, oni zavise samo od struja u odgovarajućim namotajima. U primarnom namotaju postoji resultantni magnetni fluks $\Phi_1 = \Phi_0 + \Phi_{\lambda 1}$, dok u sekundarnom namotaju deluje resultantni fluks $\Phi_2 = \Phi_0 + \Phi_{\lambda 2}$. Telo na kome se nalaze namotaji naziva se jezgro transformatora, a telo koje povezuje jezgra transformatora zove se jaram transformatora. Sada ćemo objasniti šta se događa u transformatoru kada se on priključi na naizmenični napon trenutne vrednosti $u_1(t)$. Pod dejstvom ovoga napona u primarnom namotaju pojavljuje se naizmenična struja trenutne vrednosti $i_1(t)$. Ona stvara magnetni fluks $\Phi_1(t) = \Phi_0(t) + \Phi_{\lambda 1}(t)$. Primarnom naponu, odnosno naponu mreže $u_1(t)$ suprotstavljaju se pad napona usled omske otpornosti primarnog namotaja R_1 i elektrootporne sile usled postojanja vremenski promenljivih zajedničkog fluksa $\Phi_0(t)$ i rasipnog fluksa $\Phi_{\lambda 1}(t)$



Slika 3: Transformator

Jednačina elektrodinamičke ravnoteže za primarno kolo posmatranog transformatora glasi:

$$u_1(t) = R_1 i_1(t) + N_1 \frac{d\Phi_0}{dt} + \frac{d\Phi_{\lambda 1}}{dt} \quad (1)$$

Ako se zanemare padovi napona, promena fluksa $\Phi_0(t)$ mora biti takva da indukuje u primarnom kolu transformatora elektromotornu silu, koja će se uravnotežiti sa naponom $u_1(t)$. Zbog postojanja promenljivog fluksa $\Phi_0(t)$, u sekundarnom namotaju transformatora se indukuje elektromotorna sila. Pod uticajem ove sile, u sekundarnom kolu postoji električna struja trenutne vrednosti $i_2(t)$ ukoliko je kolo zatvoreno nekom impendansom Z . Što se tiče smera ove struje, ona ima uvek takav smer da se suprotstavlja pojavi kojom je izazvana. Pod dejstvom sekundarne struje stvara se rasipni fluks $\Phi_{\lambda 2}$ i pad napona $R_2 i_2(t)$ gde je sa R_2 označena otpornost sekundarnog namotaja. Označavajući sa $u_2(t)$ trenutnu vrednost napona na krajevima sekundara transformatora, tj. na krajevima njegovog opterećenja Z jednačina elektrodinamičke ravnoteže za sekundarno kolo transformatora glasi:

$$N_2 \frac{d\Phi_0(t)}{dt} = u_2(t) + R_2 i_2(t) + \frac{d\Phi_{\lambda 2}}{dt} \quad (2)$$

Relacije (1) i (2) predstavljaju opšte jednačine transformatora. U ovim jednačinama pojedini članovi su mnogo manji od drugih, te se mogu zanemariti. Na primer, omski padovi napona $= R_1 i_1(t)$ i $R_2 i_2(t)$ mogu se zanemariti u odnosu na napone $u_1(t)$ i $u_2(t)$, respektivno. Na isti način može se postupiti sa indukovanim ems usled rasipnih flukseva na primaru i sekundaru. Kada se ovo uzme u obzir, dobija se da je:

$$u_1(t) = N_1 \frac{d\Phi_0(t)}{dt} \quad (3)$$

$$u_2(t) = N_2 \frac{d\Phi_0(t)}{dt} \quad (4)$$

Kod transformatora koji rade u praznom hodu, tj. kod transformatora koji nije opterećen, primarna struja je mala. Ona se naziva struja magnećenja. Označimo je sa i_μ . Ova struja pomnožena sa primarnim brojem navoja daje magnetopobudnu silu $N_1 i_\mu$ koja je potrebna da se u magnetnom kolu uspostavi fluks, gde je R_μ magnetna reluktansa. Kada se transformator optereti, pojavljuje se sekundarna struja i_2 . Magnetopobudna sila $N_2 i_2$ teži da smanji fluks u magnetnom kolu. Do većeg smanjenja fluksa ne dolazi, jer se povećava primarna struja i_1 .

Ukupna magnetopobudna sila $N_1i_1 - N_2i_2$ održava fluks. Za magnetno kolo transformatora sa gvozdenim jezgrom važi:

$$\Phi_0 = \frac{N_1i_1 - N_2i_2}{R_\mu} = \mu_{Fe}S_{Fe} \frac{N_1i_1 - N_2i_2}{l_{Fe}} \quad (5)$$

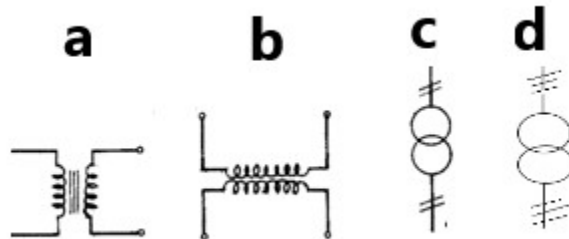
Ako je magnetno kolo načinjeno od materijala sa velikim magnetnim permeabilitetom, magnetna reluktansa je mala, pa za konačan fluks magnetnog kola transformatora mora biti i razlika magnetopobudnih sila $N_1i_1 - N_2i_2$ mala. Pod ovim uslovima iz relacije (2.1.5) sleduje $N_1i_1 = N_2i_2$. Ova relacija uz (3) i (4) važe za tzv. idealni transformator tj. za transformator u kome je omska otpornost namotaja zanemarljiva, u kome nema rasipnih flukseva i u kome je magnetno kolo idealno. Primena ovih relacija unosi grešku u iznosu od samo nekoliko procenata u odnosu na opšte jednačine transformatora. Iz navedenih relacija za idealni transformator, vidi se da su u svakom trenutku zadovoljene relacije:

$$\frac{u_1}{u_2} = \frac{i_2}{i_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

Ovi odnosi očigledno važe ne samo za trenutne već i za efektivne vrednosti napona i struja što predstavlja prenosni odnos transformacije transformatora:

$$m_T = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad (6)$$

Kod opterećenog transformatora sa gvozdenim jezgrom, odnos transformacije može se dobiti izjednačavanjem vrednosti ulazne i izlazne prividne snage transformatora. Transformatori se u električnim šemama označavaju na jedan od načina prikazanih na slici 4



Slika 4: Simboli za šematsko prikazivanje transformatora

1.0.2 Efektivne vrednosti napona primara i sekundara transformatora

Pretpostavimo da se fluks maksimalne vrednosti Φ_m u jezgru transformatora menja po sinusnom zakonu, sa ugaonom učestanošću $\omega = 2\pi f$ tada se iz relacije (3) dobija:

$$u_1(t) = N_1 2\pi f \Phi_m \cos \omega t = N_1 2\pi f B_m S_{Fe} \cos \omega t$$

Efektivna vrednost napona na primaru transformatora je

$$U_1 = \frac{2/\pi}{\sqrt{2}} f N_1 B_m S_{Fe} = 4,44 N_1 f B_m S_{Fe} \quad (7)$$

Analogno se nalazi

$$U_2 = \frac{2/\pi i}{\sqrt{2}} f N_2 B_m S_{Fe} = 4,44 N_2 f B_m S_{Fe} \quad (8)$$

Prema tome, maksimalna vrednost magnetne indukcije B_m u jezgru transformatora linearno raste sa veličinom priključenog napona. U praksi, broj navoja i presek jezgra transformatora treba tako odabrati da magnetna indukcija B_m ne bude mnogo veća od $1T$ pri nominalnom naponu i učestanosti mreže. Transformator može raditi sa manjim naponom od nominalnog, ali ne i sa višim. Transformator, isto tako, može raditi sa povišenom učestanošću, ali ne i sa sniženom. Naime, evo o čemu se tu radi. Pri povećanom naponu ili smanjenoj učestanosti, dolazi do zasićenja magnetnog materijala. Promena magnetnog fluksa ne može biti dovoljna da indukuje elektromotornu silu koja se suprotstavlja naponu. Zbog toga se naglo povećava struja i transformator pregoreva. Iz ove analize se može zaključiti da transformator koji je projektovan da radi sa učestanošću $f = 16\frac{2}{3}Hz$ bez problema radi i sa učestanošću $f = 50Hz$ ali obrnuto ne važi.

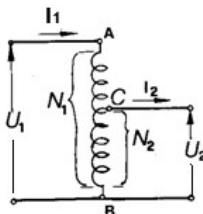
1.0.3 Vrste transformatora

Transformatori mogu biti monofazni i višefazni, najčešće trofazni. Monofazni transformator smo upoznali, a za trofazni treba istaći da se obično gradi pomoću trofaznog jezgra od tri stuba na kojima su namotani primari i sekundari trofaznog sistema. Namotaji primara i namotaji sekundara mogu biti vezani u trougao ili u zvezdu. U železničkim elektroenergetskim postrojenjima i elektrovučnim vozilima u primeni se nalaze različiti tipovi transformatora kao što su: energetske transformatori, autotransformatori, merni transformatori i specijalni transformatori. Energetske transformatori su najvažniji uređaji u postrojenjima koji povezuju elektropribrednu mrežu visokog napona sa mrežom za napajanje električnom energijom elektrifikovanih železničkih pruga. Oni služe za prenos i raspodelu električne energije.

Autotransformator je uređaj sa svega jednim namotajem na gvozdenom jezgru kod koga je odnos transformacije blizak jedinici. Šema autotransformatora data je na slici (5). Kada treba sniziti napon, sekundar je deo primarnog namotaja. Međutim, ako se traži da se napon poveća, primar je deo sekundara. Kao i kod transformatora sa dva namotaja, ovde vrede odnosi:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} = m_T > 1 \quad (9)$$

gde su E_1 i E_2 , indukovane ems u namotaju transformatora, U_2 napon na sekundarnoj, U_1 napon na primarnoj strani transformatora, dok su I_1 i I_2 struje na ulazu i izlazu transformatora, respektivno. Sa N_1 označen je broj navojaka od tačke A do tačke B, dok je N_2 broj navojaka od tačke C do tačke B.



Slika 5: Autotransformator

Prema slici (5) imaćemo da je struja u delu autotransformatora CB, $\bar{I}_2 - \bar{I}_1$. Struja $I_2 > I_1$, pošto je napon $U_2 < U_1$. Označimo sa l srednju dužinu provodnika po navojku. Neka je dozvoljena gustina struje u provodniku namotaja Γ . U tom slučaju, od tačke A do tačke C površina preseka provodnika iznosi $S = \frac{I_1}{\Gamma}$, pa kako je l , dužina jednog navojka sledi da ukupna zapremina bakra za deo namotaja od A do C je (10) dok je zapremina utrošenog bakra za deo namotaja između C i B (11)

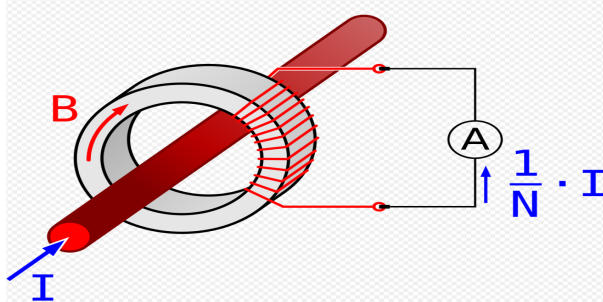
$$V_{AC} = N_1 I_1 \frac{1}{\Gamma} l \quad (10)$$

$$V_{BC} = N_2 \frac{I_2 - I_1}{\Gamma} l = N_2 I_2 \frac{1 - m_T^{-1}}{\Gamma} l \quad (11)$$

Kako je $N_1 I_1 = N_2 I_2$ lako se uočava da je $V_{CB} < V_{AC}$. Pa je ukupna zapremina bakra za auto transformator prenosnih karakterisika (9) $V_{cu} = V_{AC} + V_{BC}$. Ako bi za istu naponsko strujnu transformaciju koristili klasičan transformator sa razdvojenim primarnim tada bi ukupna količina bakra bila $V_{cu} = 2V_{AC}$. Dakle autotransformatorom ostvarujemo uštedu u bakru. Međutim važno je istaći da se regulacija napona na izlazu transformatora može postići ako jedan od namotaja izvedemo sa više izvoda tako da pri konstantnom broju navojaka jednog namotaja možemo imati više prenosnih odnosa zbog autotransformatorske izvedbe drugog namotaja, Ovo znači da se na primer pri istom naponu primara na sekundaru dobijaju različite vrednosti napona, U postrojenjima za napajanje električnom energijom kontaktne mreže na sekundaru transformatora postoje izvodi koji su namenjeni za regulaciju napona u određenim granicama.

Druga važna klasa transformatora su transformatori koji su namenjeni za merenje električnih struja na visokonaponskim vodovima, merenje visokih napona. Ovi uređaji se takođe koriste u sistemima zaštite visokonaponskih elektroenergetskih sistema od previsokih napona i struja koje mogu nastati kao posledica kvarova na mreži. Dva osnovna tipa su naponski merni transformator i strujni merni transformator. Naponski merni transformator ima u primarnom kolu veliki broj navojaka dok je sekundarno kolo galvanski odvojeno od primarnog i broj navojaka je tako odabran da efektivna vrednost indukovanog napona između njegovih krajeva iznosi $U_2 = E_2 = 100V$ pri nazivnom naponu na ulazu primara. Na primer ako je $U_1 = 25kV$ tada je $m_T = 2500$. Na ovaj način ako je pomoću voltmetra izmereni napon na sekundaru $U_2 = 80V$ onda nepoznati napon koji zaista tražimo se indirektno izračunava formulom: $U_1 = m_T U_2 = 20kV$. Strujni merni transformator ima obično na primaru jedan navojak dok sekundarni namotaj može imati više stotina navojaka tako da je $\frac{I_2}{I_1} = \frac{1}{N_2} = m_T$. Sekundarno kolo je zatvoreno ampermetrom male unutrašnje otpornosti i projektuje se tako da struja sekundara iznosi $5A$, kada kada su mu krajevi kratko spojeni ampermetrom nulte

unutrašnje otpornosti a struja kroz primarni navojak ima nazivnu vrednost. Prema navedenom sledi da ako je nominalna struja u primarnom navojku $I_1 = 400A$ i ako struja kroz ampermetar koji spaja sekekundarne krajeve iznosi $I_2 = 5A$, prenosni odnos transformatora $m_T = \frac{5}{400}$.Princip rada strunog transformatora može se sagledati i slike 6



Slika 6: Princip rada strujnog transformatora

1.0.4 Kratak pregled razvoja sistema za električnu vuču i prednosti u odnosu na druge sisteme

Različitoš sistema već elektrificiranih pruga u Evropi potiče od vremenskog trenutka kada su one izgrađene. Prve sistemi električne vuče (kraj XIX veka) bile su sprovodive za kraće relacije s manjim opterećenjima, najčešće je to tramvajska vuča. Sistem napajanja bio je 150 [V] jednosmerne struje, a ukupna je snaga vučnog vozila iznosila do 7,5 [KS]. Nakon 1888.g napon se povećao na 600 [V], a najveća snaga je bila oko 40 [KS], što je omogućilo elektrifikaciju prigradskih vozova i podzemnih železnica. Elektromotori su bili na početku razvoja, tako da oko 1900. godine još uvek nije bio dostupan vučni motor veće snage, što je kasnije omogućio naizmjenični trofazni asinhroni motor. Sistem od 750 [V], sa sniženom frekvencijom (40 [Hz]), predstavlja prvi pravi sistem elektrifikacije železnice. Prvo je primenjen u Švajcarskoj, zatim se trofazni sistem napona 3,3 [kV] i 15 [Hz] postavljao na severu Italije do 1928. Lokomotive su imale asinhronne motore. Prva lokomotiva koja se napajala na 15 [kV], 16 2/3 [Hz] izgrađena je 1905.g u Švajcarskoj, što je prihvatila i Nemačka 1909. godine, iduće godine Švedska, 1914. godine Austrija, a 1922.g Norveška. Do 1928. godine bilo je oko 10.000 km pruge u celom svetu elektrificirane strujom od 15 [kV], 16 2/3 [Hz]. Sa istim naponom monofazni sistem industrijske frekvencije 50 [Hz], prvi put je postavljen u Mađarskoj 1931. godine. U Francuskoj su od 1950.g do 1952. godine izvođene probe sa naizmjeničnom strujom od 50 [Hz]. Konačni izbor je pao na 25 [kV], 50 [Hz], što se primenilo u Francuskoj 1955.g, nakon toga u Mađarskoj, Rusiji, Engleskoj, Portugaliji, Jugoslaviji, Bugarskoj, Rumuniji i u Turskoj. Osnovno pitanje koje se može postaviti nakon površnog pogleda mape koje je prikazane na slici (1) odnosi se na razloge koji su doveli do primene različitih sistema. Razvoj jednosmernih sistema električne vuče bio je posledica primenjenog tipa vučnog motora u elektovučnim vozilima. Sa druge strane osnovni nedostatak jednosmernih sistema električne vuče vezan je za neophodnost struja visokog intenziteta da bi se vozilima obezbedila odgovarajuća snaga neophodna za vuču vozova što je komplikovalo rešenja za vazdušne sisteme napajanja.

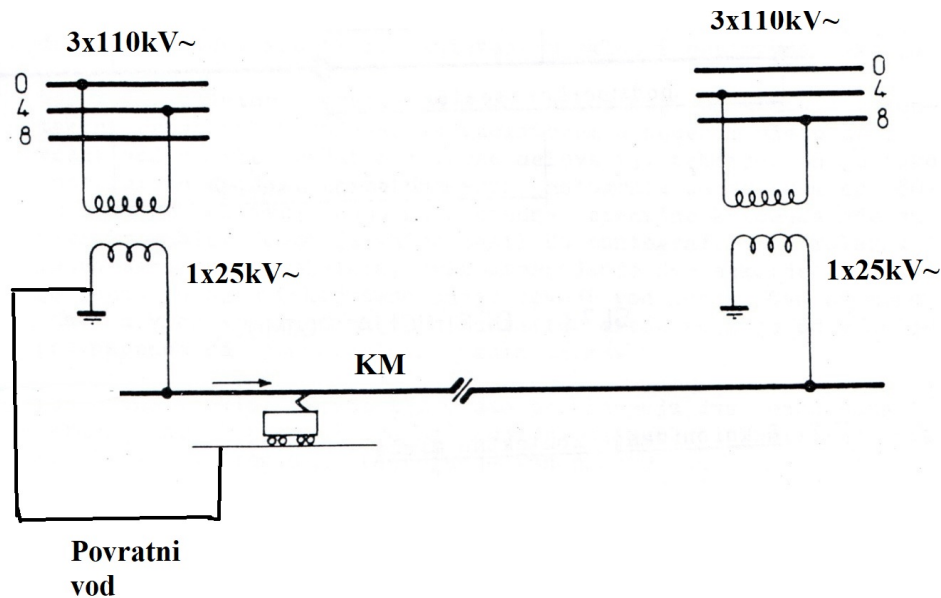
Naizmjenični sistemi električne vuče pojavili su se ciljem da se kombinuju dobra svojstva

vučnog motora i jednostavnost transformacije električne energije. U vreme pred prvi svetski rat tehnološki najsavršenije električne lokomotive su koristili komutatorski motor naizmenične struje. U toku razvoja i eksploatacije ovih električnih lokomotiva uočeni su brojni nedostaci u primeni naizmeničnog napona učestanosti 50 Hz pa je to i bio razlog da se široko primenjuje sistem napajanja sa nižom učestanošću, koja je u stvari trećina od prvobitno primenjene. Tehnička rešenja naizmeničnog sistema učestanosti $16\frac{2}{3}Hz$ koja su razvijena u Nemačkoj ubrzo su proširena na Skandinavske zemlje i Švajcarsku na tadašnjim brzim prugama i prugama sa visokim intenzitetom saobraćaja. Osnovne prednosti električne vuče su:

1. Niži troškovi rada lokomotiva i elektromotornih garnitura.
2. Smanjeni troškovi održavanja vučnih vozila.
3. Veće vrednosti kvalitativnog odnosa između instalisane snage i težine vučnih vozila što prouzrokuje gabaritno manje lokomotive i veća startna ubrzanja, veće maksimalne brzine, veće instalisane snage vučnih vozila.
4. Smanjena buka i zagađenje vazduha duž trase pruge.
5. Energetska efikasnost je u principu veća kod sistema sa električnom vučom.

1.1 Elektrovučne podstanice jednofaznog sistema 25 kV, 50Hz

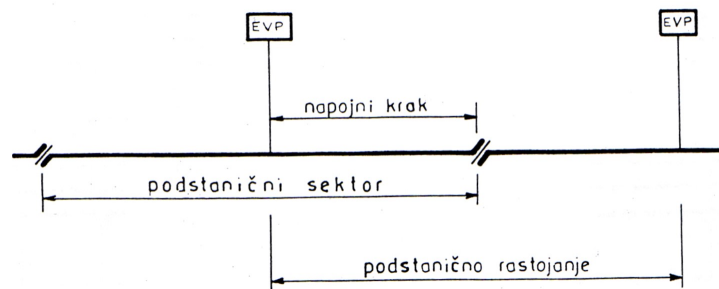
U današnjim elektrovučnim podstanicama jednofaznog sistema $25kV; 50Hz$ prenosi se električna snaga uz transformaciju napona $\frac{110kV}{25kV}$. U sistemima vuče vozova velikih brzina potrebe za snagom su izraženije pa je primarna transformacija napona $\frac{220kV}{25kV}$. Elektrovučnu podstanicu jednofaznog sistema $25kV, 50Hz$ sačinjavaju: sabirnice visokog napona, dva jednofazna transformatora, sabirnice jednofaznog napona 25kV i napojni vodovi. Najčešći slučaj u našem sistemu je da je jedan transformator stalno u pogonu, a drugi je u stanju tople rezerve. Snaga transformatora standardizovana je na sledeće vrednosti: $5MVA, 7.5MVA, 10MVA$ i $15MVA$. Postoje tehnički razlozi koji prevazilaze okvire ovog kursa zbog kojih EVP jednofaznog sistema 25 kV, 50Hz ne mogu da rade paralelno. Rastojanje susednih EVP iznosi 60-70 km i naravno zavisi od intenziteta saobraćaja. Duž kontaktne mreže zavisno od udaljenosti od podstanice i intenziteta saobraćaja dolazi do pada napona u kontaktnoj mreži. Standardi propisuju dozvoljene granične promene napona koje ne utiču na rad elektrovučnih vozila jer je oprema u njima projektovana da bez rade otkaza dozvoljenim granicama. Minimalni kratkotrajni napon (do 10 minuta) iznosi 17,5 kV. Maksimalni kratkotrajni napon (do 5 minuta) iznosi 29 kV.



Slika 7: Kontaktna mreža naizmeničnog sistema 25kV

Jedna principijelna shema sistema napajanja električnom energijom jednofaznog sistema 25kV,50Hz je prikazana na slici 7. Uočljivo je da su susedne podstanice povezane na različite faze elektroenergetskog sistema iz razloga ravnomernog opterećivanja elektroenergetske mreže. Postoje i druga rešenja za uravnotežavanje opterećivanja primarne mreže ali ona izlaze iz okvira ovog kursa.

U svom kretanju vučna lokomotiva prolazi iz napojnog sektora jedne podstanice u napojni sektor naredne podstanice koji su međusobno galvanski razdvojeni neutralnom zonom, u dužini od desetak metara. Neutralna zona je bez električnog napona pa je lokomotiva prelazi pod inercijom, međutim postoje projektovana i izvedena rešenja koja daju mogućnost da se elektrovučno vozilo izvuče ispod neutralne sekcije samostalno, bez upotrebe druge pomoćne lokomotive. Kod nas su neutralne sekcije postavljene između svih podstanica bez obzira na koje su faze priključene, jer i one sa istim fazama ne rade paralelno. Deo kontaktne mreže koji se napaja iz jedne podstanice zove se podstanični sektor (slika 8).



Slika 8: Podstanični sektori, rastojanja i kraci

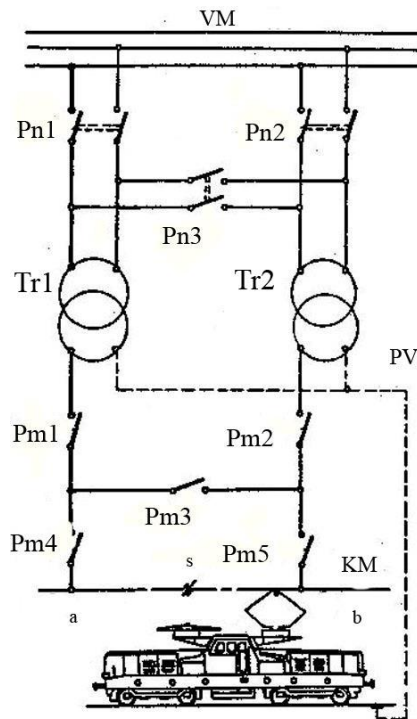
Rastojanje između dve susedne podstanice naziva se podstanično rastojanje. Napojni krak predstavlja deo podstaničnog sektora od EVP-a do kraja podstaničnog sektora. Za višekolosečne pruge kontaktna mreža svakog koloseka čini poseban napojni krak

1.2 Principske šema i sastav elektrovučnih podstanica

Izbor načina napajanja elektrovučne podstanice, tj. njen priključak na elektroprivrednu mrežu zavisi od mesta odgovarajućeg elektroprivrednog objekta, dalekovoda, na koji se podstanica priključuje. U tom smislu potrebna je saradnja između železnice i elektroprivrede, u obostranom interesu, kako u pogledu perspektive daljeg razvoja železnice tako i u pogledu razvoja opšte elektrifikacije. Podobnosti monofaznog sistema 50Hz dolaze naročito do izražaja u stabilnim postrojenjima električne vuče. Na zajednički trofazni elektrodistributivni sistem visokog napona VM monofazno se priključuju elektrovučne podstanice, kojima su prema šemi na slici (9) sledeća karakteristična polja:

- Razvod visokog napona, sa rastavljačima i prekidačima P_n , kao i mernom grupom za utrošak električne energije.
- Transformatori za vuču Tr_1 - Tr_2 i poseban transformator za pomoćne pogone podstanice.
- Elementi razvoda na sekundarnoj strani transformatora služe istovremeno i za kombinovano sprezanje transformatora i napojnih vodova. Sa prekidačima P_1 - P_5 na ovoj šemi, moguće su različite kombinacije veza.
- P_{m1} - P_{m4} , P_{m2} - P_{m5} svaki transformator posebno napaja svoje deonice (Tr_1 -a, Tr_2 -b)
- P_{m1} - P_{m4} , P_{m3} , P_{m2} - P_{m5} transformatori u paralelnom radu napajaju deonice a i b
- P_{m1} - P_{m4} , P_{m3} - P_{m5} transformator Tr_1 napaja obe deonice (a i b)

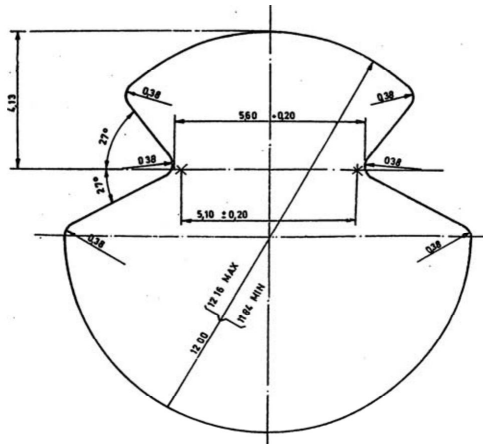
Deonice a i b su međusobno električno razdvojene rastavnim izolatorom S (mesto sekcionisanja)



Slika 9: Principijelna shema elektrovucne podstanice

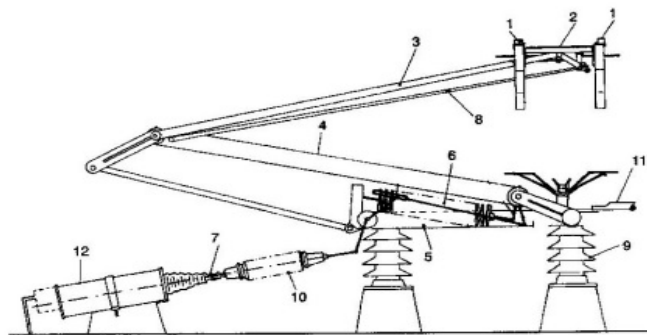
1.3 Kontaktna mreža

Kontaktna mreža KM jeste stabilno postrojenje električne vuče namenjeno za neprekidno i kvalitetno napajanje električnih vučnih vozila električnom energijom pri svim brzinama i u svim vremenskim uslovima. Veza KM s elektrovučnim podstanicama ostvaruju se napojnim vodovima. Deo kontaktne mreže koji služi za vezu s lokomotivom jeste kontaktni provodnik. Kontaktni provodnik postavlja se na određenoj visini iznad koloseka i iznad vozila koja saobraćaju po kolosecima. Zato je kontaktna mreža vazдушna, što se više neće posebno naglašavati. Ovakav tip napajanja primenjuje se na železničkim elektrificiranim prugama i u gradskom saobraćaju kod tramvaja. Kod lokomotiva elektromotornih vozova i tramvaja struja se oduzima iz kontaktnog provodnika koji je izrađen od visoko provodnog bakra punog profila, čiji poprečni presek ima oblik kao na slici(10).



Slika 10: Poprečni presek kontaktnog provodnika

Pantograf je uređaj za uzimanje struje koji se nalazi na svakom elektrovučnom vozilu. Pokretanje vučnih vozila električnom energijom svodi se na prenos električne energije mehaničkim kontaktom sa nepokretnog voda kontaktne mreže na pokretno elektro-vučno vozilo posredstvom pantografa koji se nalazi na elektro vučnom vozilu i koji pomoću pneumatskog pogona i sistema opruga održava stalnu vezu sa kontaktnim provodnikom.



Slika 11: Lokomotivski pantograf

Osnovni delovi pantografa su: 1-grafitni klizači; 2-glava pantografa; 3-gornji krak; 4-centralna cev; 5- temeljni okvir; 6-opruge za podizanje; 7-klipna poluga; 8-držać glave; 9-potporni izolator; 10-štapasti izolator; 11-priključak; 12- cilindar

Profil glave pantografa, elektrolokomotiva monofaznog sistema 25 kV, 50 hz na mreži Železnica Srbije, prikazan je na slici 5.3. Pantograf je sa izolovanim lukovima, dužina svakog izolovanog luka je 100 mm, a ima sledeće karakteristike:

- ukupna širina pantografa je 1600mm
- širina radnog dela je 1400mm

- širina klizača je 1010mm
- statički pritisak pantografa je $60 - 90\text{N}$
- maksimalno pomeranje pantografa u odnosu na osu statičkog pantografa na normalnoj visini kontaktnog provodnika 5500mm je 200mm

Mesto spoja pantografa sa kontaktnim provodnikom ne bi bilo u sanju da ispuni zadatak prenošenja vučne snage od mekoliko MW koliko je potrebno za lakomotive da se kontakt ne ostvaruje na drugom mestu u svakom trenutku, odnosno da se ne pomera duž kontaktnog voda pa isto mesto nije opterećeno. Dakle, pomeranje kontakta je uslov za ostvarenje električne vuče. Kada lokomotiva miruje sila kontaktnog pritiska se može dovesti na vrednost od $100 - 150\text{N}$, ali je u voznji ova vrednost promenljiva. Najbolji pokazatelj kvaliteta oduzimanja struje je opseg promene kontaktnog pritiska. Malim kontaktnim pritiskom povećava se prelazni otpor kontakta, a samim tim i trošenje kontaktnog provodnika, dok se kod velikih pritisaka trošenje manifestuje mehaničkim skidanjem slojeva provodnika. Najniži kvalitet oduzimanja struje je onaj kada dolazi do prekida veze kontaktni provodnik-pantograf i ti prekidi mogu biti potpuni u nepotpuni. Kod potpunih prekida prestaje napajanje, vučna sila pada na nulu i nastaju prelazne pojave u električnim i magnetnim kolima električnog vozila. Kod nepotpunih prekida napajanje se vrši preko luka, stvara se visoka temperatura luka koje razaraju kontaktni provodnik i klizač pantografa. Uzroci prekida mogu biti različite prirode:

- Spoljašnji uzroci prekida kontakta – u ovu grupu spadaju sve slučajne pojave koje dovode do prekida kontakta (na primer temperatura i vetar). Ovaj uzrok je vrlo redak za razliku od slučaja kada se tanak sloj leda stvori na kliznoj površini kontaktnog provodnika.
- Prisustvo koncentrisanih masa u voznom vodu ili vertikalnih sila usmerenih nadole – Koncentrisane mase i vertikalne sile mogu pantografu saopštiti takva ubrzanja da dolazi do prekida kontakta. One potiču od opreme voznog voda i njihov uticaj raste sa povećanjem brzine.
- Nagle promene visine kontaktnog provodnika – dovode do prekida kontakta jer pantograph usled inercije ne može da isprati kontaktni vod. Ovaj uticaj takodje raste sa brzinom. Promene visine kontaktnog voda nastaju zbog veštačkih objekata, ugiba kontaktnog provodnika izmedju tačaka vešanja, usled deformacije kontaktnog provodnika zbog nepravilne montaže, transport ili izrade, kada kontaktni provodnik počinje ili prestaje da bude aktivan (kod skretnice).
- Nepravilno regulisan pantograf – Usled pogresnih parametara pantografa koji nije usaglasen sa karakteristikama voznog voda.
- Kritična brzina – Kod stranih zeleznica utvrdjeno je da se za odredjenu brzinu voznje amplitude pantografau vertikalnoj ravni postaju velike i da dolazi do prekida kontakta vrlo često. Za veće ili manje brzine od kritične ova pojava nestaje i kvalitet oduzimanja struje dobija vrednost kao i pre ove brzine koju zovemo kritična. Kritična brzina zavisi

od parametara pantografa zavisi i od raspona i sistema voznog voda. Na našim prugama kritična brzina je veća od maksimalnih dozvoljenih brzina vožnji na otvorenoj pruzi, dok je u tunelima kritična brzina manja zbog smanjenja raspona.

Povratnim vodom zatvara se strujno kolo za napajanje električnih vučnih vozova električnom energijom. Povratni vod sastoji se od povratnog voda elektrovučnih podstanica i povratnog voda kontaktne mreže. Priključak povratnog voda EVP na povratni vod KM izvodi se kablovski. Povratni vod kontaktne mreže može da bude vazdušni i šinski. Vazdušni povratni vod ima određene prednosti u pogledu uticaja struje vuče na različite instalacije u zemlji. Zato se vazdušni povratni vod primenjuje na određenim deonicama elektrificiranih pruga, šira primena je ograničena troškovima (za poseban vazdušni vod, za usisne transformatore, za opremu za vešanje...). Šinski povratni vod sačinjavaju jedna ili obe šine koloseka, šinski prespoj i međušinski i međukolosečni prevezi. Ovo je najjednostavniji i najjeftiniji povratni vod. Povratni vod mora imati što manju otpornost. Električni kontakt između vučnih motora lokomotive i šina ostvaruje se preko točkova i posebnih veza s kliznim kontaktom. Nedostaci šinskog povratnog voda jesu: stalno obezbeđenje kontinuiteta povratnog voda i pojava lutanjućih struja. Šine od kojih se gradi kolosek imaju određenu dužinu i povezuju se mehaničkim vezama. Na određenim mestima postoje dilatacioni sastavi. U stanicama postoje skretnice. Na svim ovim mestima neophodni su šinski prespoji.

Podela kontaktnih mreža obavlja se prema sledećim kriterijumima:

- Prema konstrukciji: obična KM i lančasta KM. Običnu kontaktnu mrežu sačinjavaju: noseće konstrukcije, kontaktni provodnik, povratni vod i uzemljenje.
Lančastu kontaktnu mrežu sačinjavaju: noseće konstrukcije, oprema za vešanje, vozni vod, povratni vod i uzemljenje.
- Prema načinu zatezanja: nekompenzovana KM, polukompenzovana KM i kompenzovana KM
Nekompenzovana KM nema uređaje za automatsku kompenzaciju sile zatezanja pri promeni temperature.
Polukompenzovana kontaktna mreža ima automatsku kompenzaciju sile zatezanja samo kontaktnog provodnika.
Kompenzovana kontaktna mreža ima automatsku kompenzaciju sile zatezanja i kontaktnog provodnika i nosećeg užeta.

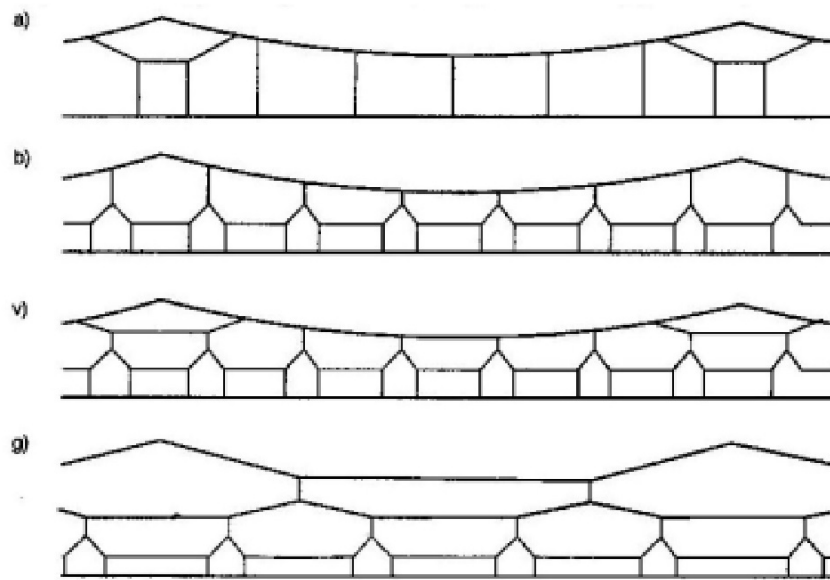
1.3.1 Prosta kontaktna mreža

Kontaktni vod, specijalnog preseka, uklješten je pomoću specijalne stezaljke i obešen o izolatore od livene mase. Ovi izolatori postavljeni su na konzoloama stubova, koji mogu imati različiti profil ali su najčešće u obliku cevi. Ovaj sistem vešanja daje dobre rezultate samo pri malim brzinama vozila i to do 40 km/h. Maksimalna rastojanja su do 35 m. Sa povećanjem rastojanja između stubova, tj. tačaka vešanja, raste ugib kontaktnog voda. Usled toga, pri prolasku vozila, nastaju jake oscilacije voda i pantografa. Na mestu vešanja pritisak pantografa je najmanji, pa se pantograf odvađa od kontaktnog voda što dovodi do prekida struje i stvaranje električnog luka. Nestalnost kontakta između pantografa i kontaktnog voda, pored električnog luka, ima za posledicu loš rad vučnih motora. Kako ugib raste sa

povećanjem rastojanja između stubova, bilo bi potrebno smanjiti rastojanje između stubova da bi se ostvario zadovoljavajući kontakt. To bi značilo povećanje broja stubova te, prema tome, povećanje investicionih troškova. Zbog ovih mana ovaj način vešanja, ograničen je na tramvajski saobraćaj i na sporedne koloseke u železničkom saobraćaju.

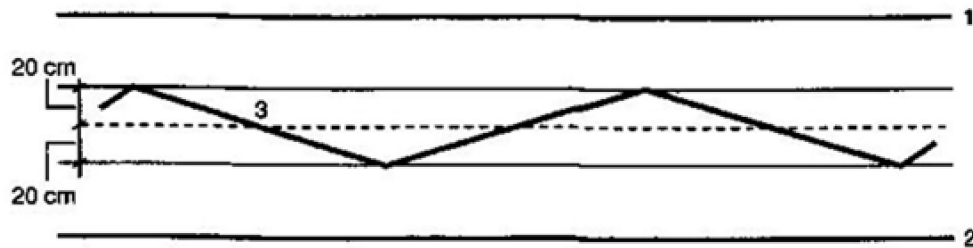
1.3.2 Lančasta kontaktna mreža

Da bi se sprečilo nastajanje ugiba kontaktnog provodnika, tačke vešanja moraju biti blizu jedna drugoj. To se ostvaruje nosećim užetom (lančanicom), koji nosi kontaktni provodnik, i vešaljka koje ga drže na određenoj visini. Kontaktni provodnik, noseće uže i vešaljke sačinjavaju vozni vod. Lančastom kontaktnom mrežom obezbeđuje se dobar kontakt klizača pantografa i kontaktnog provodnika. Lančasta vazдушna kontaktna mreža električne vuče, na železnici, primenjuje se za brzine do 120 km/h, za sve sisteme električne vuče na železnici u gradskom i prigradskom saobraćaju. Za veće brzine koriste se složenije konstrukcije voznog voda lančaste kontaktne mreže: vozni vod sa “Y” užetom; dvostruki vozni vod; dvostruki vozni vod sa “Y” užetom i trostruki vozni vod što je prikazano na slici. (12)



Slika 12: Tipovi lančaste kontaktne mreže

U odnosu na osu koloseka kontaktni provodnik se postavlja tako da se obezbedi ravnomerno trošenje klizača pantografa jedno uobičajeno rešenje je poligonalno postavljanje kontaktnog voda u odnosu na osu koloseka kao što je to prikazano na slici 5.

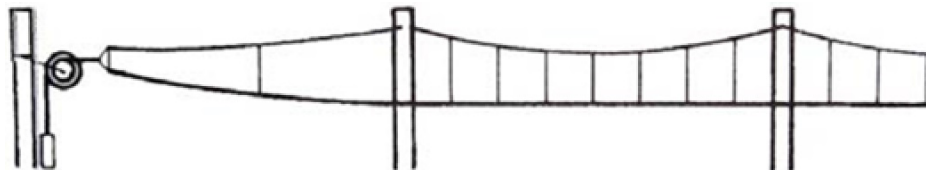


Slika 13: Poligonacija kontaktnog provodnika (1,2-šine koloseka, 3-kontaktni provodnik)

U okviru podele kontaktne mreže po načinu zatezanja najveći značaj ima rešenje kojim ostvarujemo konstantnu silu zatezanja nezavisno od klimatskih promena.

1.3.3 Kompenzovana kontaktna mreža

Kod kompenzovane kontaktne mreže kontaktni provodnik i nosece uže zategnuti su preko zateznog uređaja što omogućava konstantnu silu zatezanja kontaktnog provodnika bez obzira na temperaturu. . Rastojanje između dva stuba kontaktne mreže na kojima se nalaze uređaji za automatsko zatezanje predstavlja zatezno polje. U sredini zateznog polja noseće uže je pričvršćeno u čvrstoj tački, a kontaktni vod je pričvršćen za nosece uže. Prema tome, hod kontaktnog voda i nosećeg užeta jednak je nuli u čvrstoj tački, a maksimalan je kod uređaja za zatezanje. Uprošćen prikaz kompenzovane kontaktne mreže je prikazan na slici 14.



Slika 14: Princip zatezanja kompenzovane kontaktne mreže

1.3.4 Električne i mehaničke karakteristike kontaktne mreže

Kontaktna površina između kontaktnog provodnika i klizača pantografa iznosi oko 20mm. Jačina struje koja se prenosi preko kontaktne površi može biti više stotina ampera pa je po-uzdan kontakt na mestu dodira kontaktni provodnik pantograf pri svim temperaturama i brzinama koje su predviđene eksploatacijom od posebnog značaja. Da bi se izbeglo nedozvoljeno zagrevanje voznog voda dozvoljena je trajna gustina struje do $4 \frac{A}{mm^2}$ uz preopterećenje od 50% u trajanju od tri minuta. Kontaktne mreže je konstruisana da stvara što je moguće manji pad napona do lokomotive koja predstavlja dinamičko opterećenje jer menja svoju poziciju na kontaktnoj mreži. Ukupan presek svih vodova kontaktne mreže proračunava se na bazi rastojanja između podstanica ,gustine saobraćaja, profila pruge i dozvoljenih padova napona $25kV - 10\%$. Habanje kontaktnog provodnika nastaje zbog električnih, mehaničkih i hemijskih uticaja. Habanje kontaktnog provodnika usled električnih uticaja nastaje zbog nepravilnog oduzimanja struje nedovoljne kontaktne sile, oštećenja klizača pantografa i lošeg

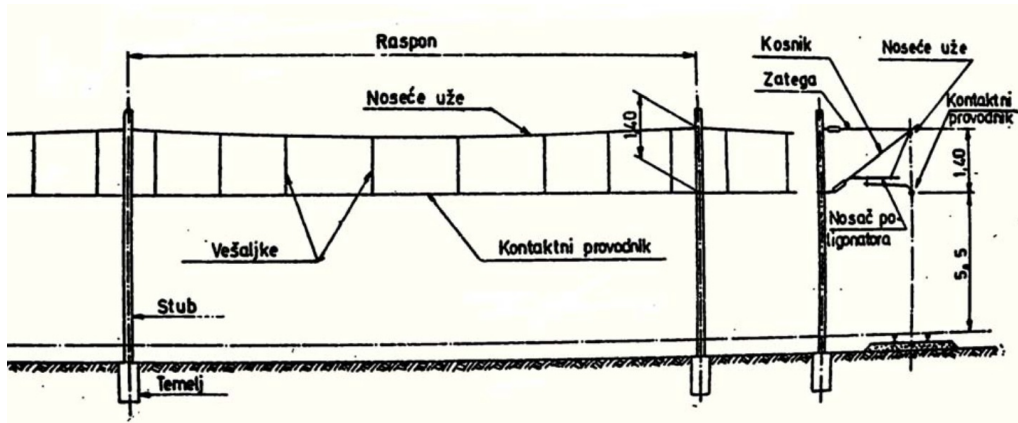
stanja koloseka. Mehaničko habanje jeste posledica klizanja klizača pantografa po kontaktnom provodniku. Ono zavisi od sledećih faktora: materijala od koga je sagrađen kontaktni provodnik, vrste klizača pantografa i materijala od koga je sačinjen (grafit, čelik-bakar, aluminijum, bakar), stanja klizanih površina klizača i kontaktne sile. Hemijski uticaji nastaju usled aerozagađenja i soli u vazduhu. Kontaktna mreža mora biti otporna s električnom i mehaničkom pogledu na sve uticaje prouzrokovane atmosferskim uslovima: vetar, kiša, sneg i led.

1.3.5 Sastav kontaktne mreže otvorene pruge

Osnovne elemente kontaktne mreže otvorene pruge čine stub, oprema za vešanje i vozni vod. Vozni vod čine električno provodni delovi kontaktne mreže koji obezbeđuju električnu energiju elektrovučnom vozilu. Noseće uže ima presek 65mm^2 , sačinjeno je od 37 provodnika preseka $1,5\text{mm}^2$. Izrađeno je od bronce 9 čija je provodnost 60 procenata u odnosu na etalon bakra. Spoljni prečnik iznosi $10,5\text{mm}$, teško je $6\frac{\text{N}}{\text{m}}$, a sila kidanja je 43000N . Kontaktni provodnik ima presek 107mm^2 , a njegov oblik prikazan je na slici. Dva podužna žleba služe za pričvršćenje vešaljki, pri čemu je donja površina sasvim slobodna da bi se omogućilo klizanje pantografa bez ikakvih udara. Teško je $9,5\frac{\text{N}}{\text{m}}$ a sila zatezanja je 39050N . Ekvivalentni presek bakra bio bi:

- Za noseće uže 39mm^2
- Za kontaktni vod 105mm^2

Kontaktni vod obešen je za noseće uže pomoću vešaljki koje su napravljene od okruglog bakarnog provodnika prečnika 5 mm. Maksimalno rastajanje između dveju uzastopnih vešaljki je 9m. Srednja težina ovakve kontaktne mreže iznosi $16\frac{\text{N}}{\text{m}}$. Kontaktna mreža obešena je iznad koloseka po kome se kreću vozila za stubove kontaktne mreže (slika 15).

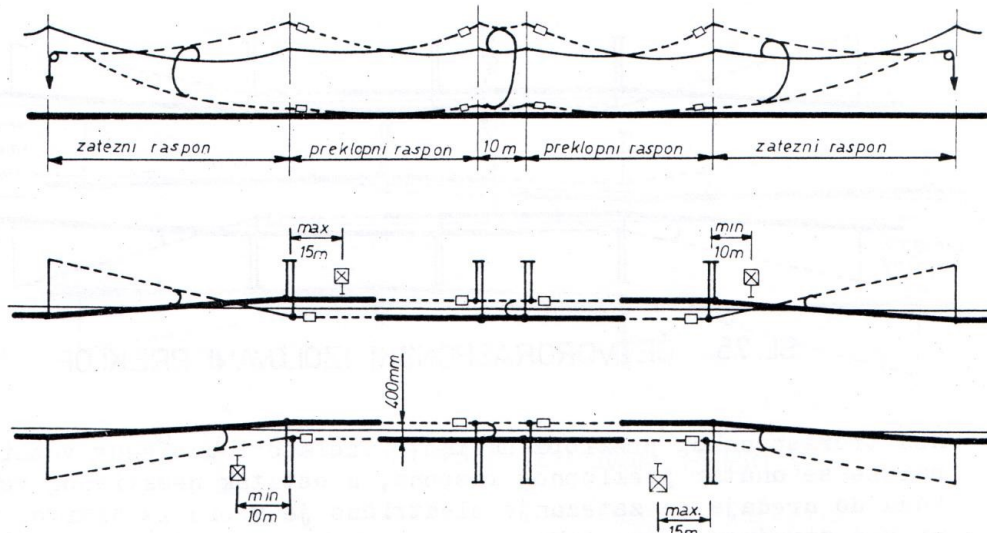


Slika 15: Kontaktna mreža otvorene pruge, prikaz stuba KM-levo

Noseće uže veša se za stub pomoću jedne izolovane cevi tzv. kosnika konzole i jedne izolovane šipke zvane zatega konzole. Maksimalno rastojanje između stubova je 63m.

1.3.6 Sekcionisanje kontaktne mreže

Zadatak kontaktne mreže na elektrificiranoj pruži je da u svakom momentu i pod svim uslovima snabdeva elektrovučna vozila potrebnom energijom za njihovo kretanje. U toj svojoj nameni njena uloga je nezamenljiva. Dok se jedna električna lokomotiva koja je u kvaru može zameniti drugom, a napajanje jedne podstanice koja je isključena mogu preuzeti susedne, dotle ulogu kontaktne mreže ne može preuzeti nijedan drugi element. Radi elastičnijeg omogućavanja vršenja saobraćaja električnom vučom i radova na održavanju i opravci kvara, kontaktna mreža svake pruge podeljena je na sekcije kontaktne mreže, a u stanicama i na odseke kontaktne mreže. Sekcija kontaktne mreže predstavlja deo kontaktne mreže čiji je vozni vod ograničen izolovanim preklopima, sekcionim izolatorima ili svojim krajem. Kontaktna mreža službenih mesta, po pravilu, predstavlja sekciju kontaktne mreže. Odsek kontaktne mreže je deo sekcije kontaktne mreže službenih mesta čiji je vozni vod ograničen sekcionim izolatorima ili krajem voznog voda. Međusobno električno povezivanje sekcija kontaktne mreže i odseka kontaktne mreže vrši se pomoću rasklopnih aparata smeštenih u EVP, PS ili službenim mestima. Rasklopni aparat je zajednički naziv za prekidač ili rastavljač pomoću kojih se vrši prekidanje i spajanje strujnih krugova iz čega kao posledica proističe isključenje odnosno uključenje napona u pojedinim aparatima ili delovima stabilnih postrojenja električne vuče. Sekcionisanje se ostvaruje tzv. mestima sekcionisanja u koje spadaju: sekcioni izolator, izolovani preklop i neutralna sekcija. Sekcioni izolator predstavlja sklop koji se ubacuje u kontaktni provodnik i zajedno sa izolatorom u nosećem užetu deli vozni vod na električno nezavisne delove tj. sekcije. On je tako konstruisan da dozvoljava prolazak pantografa sa brzinom do 80 km/h pa se postavlja samo na sporedne stanične koloseke gde su i brzine male. Pantograf pri prolasku ispod sekcionog izolatora, vrši prespajanje dve sekcije tj. ako je jedna od njih isključena on je dovodi pod napon. Izolovani preklop predstavlja mesto preklapanja dva vozna voda koji su međusobno električno nezavisni jer horizontalno rastojanje iznosi 400mm. Izolovani preklop se najčešće izvodi u tri raspona. Srednji se zove preklopni, a dva krajnja zatezni rasponi. Neutralna sekcija predstavlja rešenje od dva bliska mesta sekcionisanja, a po svojoj funkciji to su dva izolovana preklopa na malom rastojanju. Konstruktivno rešenje je takvo da se u vozni vod koji se na određenom mestu izdiže, ubacuje jedan neutralni vod čiji aktivni deo iznosi oko 60m i on je bez napona. Neutralna sekcija se izvodi u pet raspona, gde je srednji od 10m, a levo i desno su po jedan preklopni i po jedan zatezni raspon (vidi sliku 16).



Slika 4: Neutralna sekcija

Slika 16: Neutralna sekcija

Pri nailasku lokomotive na neutralnu sekciju pantograf u prvom preklopnom rasponu vrši spajanje napojnog kraka i neutralnog voda tj. neutralni vod stavlja pod napon. Zatim se pantograf jedno vreme kreće samo po neutralnom vodu i on je tada bez napona, da bi u drugom preklopnom rasponu ponovo izvršio prespajanje neutralnog voda i sledećeg napojnog kraka i time doveo neutralni vod pod napon. Pri nailasku na neutralnu sekciju opterećenje lokomotive mora biti isključeno, jer bi se u protivnom stvorio luk između voznog voda i neutralnog voda preko koga bi se nastavilo napajanje lokomotive i pri nailasku na drugi preklopni raspon došlo bi do kratkog spoja napojnih krakova. Zbog toga je obavezno isključiti glavni prekidač na početku, a uključiti ga na kraju neutralne sekcije. Neutralna sekcija se najčešće izvodi u kombinaciji sa neizolovanim preklonom, jer se pri rasporedu neizolovanih preklopa jedan od njih najčešće nađe na mestu gde je predviđena neutralna sekcija. Postoji podužno i poprečno sekcionisanje. Podužno sekcionisanje kontaktne mreže predstavlja električno deljenje kontaktne mreže na sekcije duž pruge. Kod ovog sekcionisanja električnim razdvajanjem susednih sekcija, pomoću prekidača ili rastavljača prekida se put električne energije od EVP-a ka kraju napojnog kraka. Poprečno sekcionisanje predstavlja električno deljenje KM na paralelne sekcije odnosno deljenje sekcija KM stanice na odseke, poprečno u odnosu na prugu. Kod ovog sekcionisanja električnim razdvajanjem paralelnih sekcija KM odnosno odseka KM ne prekida se put električne energije od EVP-a ka kraju njenog napojnog kraka. Podelom kontaktne mreže na sekcije dobili smo električno nezavisne delove koje treba povezati rasklopnim aparatima, prekidačima i rastavljačima, čijim otvaranjem i zatvaranjem vršimo isključenje odnosno uključivanje sekcija. Prekidači su sposobni da izvrše prekidanje i uključivanje svake struje, pa i struje kratkog spoja. Oni se daljinski upravljaju i smešteni su u zgradama postrojenja za sekcionisanje. Rastavljači su tako konstruisani da ne mogu isključivati i uključivati struje opterećenja, već se sa njima manipuliše samo kada kroz njih ne protiče struja. Rastavljači koji su montirani na stubovima i portalima kontaktne mreže čine njen sastavni deo i njima se rukuje ručno na licu mesta. U postrojenjima postoje

rastavljači sa daljinskim upravljanjem kojima se takođe manipuliše bez opterećenja.

1.3.7 Šema napajanja i sekcionisanja

Ako se za jednu deonicu pruge šematski prikaže kontaktna mreža svih koloseka, izvrši razmeštaj mesta sekcionisanja, prikaže normalan položaj svih rasklopnih aparata i nacrtaju mesta i način napajanja dobija se šema napajanja i sekcionisanja. Potrebni polazni podaci potrebni da bi se sastavila ovakva šema su sledeći:

- Način i mesta napajanja
- Faze na koje su podstanice priključene
- Kolosečne šeme svih stanica sa podacima o nameni koloseka
- Podaci o bočnim prugama koji dolaze u obzir za perspektivnu elektrifikaciju
- Uzdužni profil pruge i lokacije signala
- Tehnologija saobraćaja u uslovima električne vuče

Takođe šema mora da ispuni sledeće uslove: Minimalni poremećaj saobraćaja kod isključenja bilo koje sekcije, zbog održavanja ili otklanjanja kvara. Da bude ekonomična Da bude fleksibilna tj. prilagodljiva za eventualne kasnije rekonstrukcije i proširenja elektrifikacije. Šema napajanja i sekcionisanja daje način napajanja i pokazuje kako je kontaktna mreža podeljena na sekcije električno nezavisne jedna od druge, ali međusobno povezane rasklopnim aparatima. Iz ove šeme se vidi kako se može omogućiti isključenje pojedinih sekcija radi održavanja ili otklanjanja kvara, a da pri tome ostale sekcije budu pod naponom. Kod izrade šeme napajanja i sekcionisanja prvo se polazi od lokacije EVP-a. Ako je EVP locirana u reonu železničke stanice, tada će ona imati tri izvoda od kojih prvi i treći napajaju otvorenu prugu levo i desno od stanice. Treći izvod se dobija između dva rastavljača sa daljinskim upravljanjem i služi za napajanje stanice. Ova dva rastavljača su tako blokirana da se oba istovremeno daljinski ne mogu zatvoriti. Oni se mogu koristiti za napajanje celog sektora preko jednog prekidača i za napajanje stanice i u slučajevima kada je bilo koji napojni krak isključen. U srednji izvod EVP-a u stanici ubacuje se i rastavljač sa ručnim pogonom kojim se može isključiti cela stanica. Pošto se reši izvodni deo EVP-a pristupa se određivanju mesta neutralne sekcije. Ona mora da ispuni sledeće zahteve:

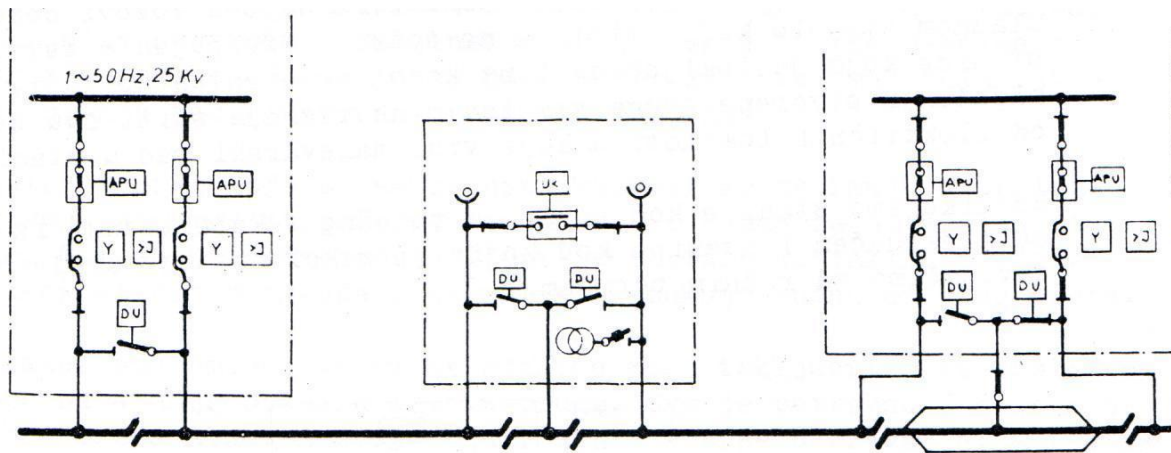
- da bude približno na sredini podstaničnog rastojanja,
- da ne bude blizu mesta na kojima se vozovi normalno zaustavljaju,
- da se za slučaj pruge u usponu proverí prolazak i najtežih vozova,
- da ne bude u krivini sa poluprečnikom ispod 800 m,
- da su terenski uslovi povoljni.

Poželjno je i da samo postrojenje bude bliže nekom službenom mestu. Zato je najčešće neutralna sekcija smeštena između predsignala i ulaznog signala. Neutralna sekcija je bez napona i može dobiti napon sa jednog ili drugog napojnog kraka preko rastavljača sa motornim pogonom i daljinskim upravljanjem.

Ako se desi da električna lokomotiva stane ispod neutralne sekcije potrebno je dovesti napon na nju. Tada se na neutralnu sekciju preko rastavljača dovodi napon sa napojnog kraka na koji voz treba da naiđe, jer bi u suprotnom pantograf izvršio spajanje napojnih krakova dve podstanice. Ako je neutralna sekcija na nagibu na kome voz može sam da krene, onda se rastavljač za neutralnu sekciju iz tog smera i ne postavlja, jer bi voz napustio neutralnu sekciju i bez uključenja napona. Prekidači i rastavljači sa daljinskim upravljanjem zajedno sa ostalom opremom smešteni su u postrojenju za sekcionisanje sa neutralnim vodom (PSN). Zgrada ovog postrojenja locirana je pored pruge na 6-8 m od koloseka. Transformator za sopstvenu potrošnju postrojenja vezan je za kraću sekciju da bi što manje vremena bio bez napona kod održavanja kontaktne mreže.

Za sekcionisanje između EVP-a i neutralne sekcije usvojen je princip da se svaka stanica i svako međustanično rastojanje ne sekcioniše u posebnu podužnu sekciju. Izolovani preklopi kod svake stanice postavljaju se između ulaznog signala i granice manevrisanja, tako da pri isključenju stanice iz napona vozovi čekaju na ulaznom signalu koji štiti da ne dođe do prespajanja sekcije stanice koja je isključena i na kojoj se eventualno radi. Pri isključenju otvorene pruge granica manevrisanja štiti ovu sekciju od električnih lokomotiva koje vrše manevarski rad u stanici.

Razlikujemo stanice kod kojih je podužno sekcionisanje izvršeno sa prekidačem i stanice kod kojih je sekcionisanje urađeno rastavljačima sa ručnim pogonom. Očigledno je da sekcionisanje prekidačima ima prednost zbog brzine manipulacija, jer se oni daljinski komanduju i mogućnosti da se isključe svi vodovi sa strujom, ali je ono daleko skuplje nego sekcionisanje rastavljačima, a naročito su skupi uređaji za daljinsko upravljanje i zgrada koja kod rastavljača nije ni potrebna.



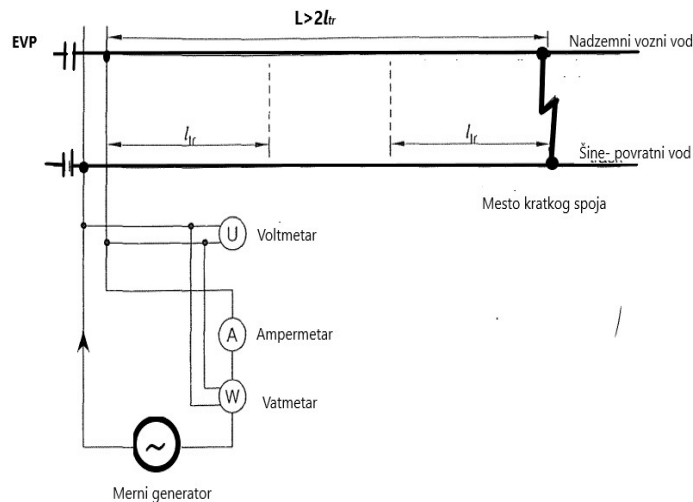
Slika 17: PS-postrojenje za sekcionisanje, PSN-postrojenje za sekcionisanje sa neutralnim vodom, Stanično sekcionisanje

Poprečno sekcionisanje svake stanice rešava se posebno u zavisnosti od broja i namene

koloseka koji se elektrificiraju. Prvo se sekcioniše manipulativni kolosek i za njega se predvidi napajanje preko rastavljača sa nožem za uzemljenje. Ovaj rastavljač se postavlja u blizini železničke stanice, jer sa njim rukuje stanično osoblje. Ostali koloseci se sekcionišu u grupe od po 1, 2 ili 3 koloseka vodeći računa da glavni prolazni kolosek može biti u istoj sekciji samo sa još jednim. U jednoj stanici koja ima više poprečnih sekcija sa glavnog prolaznog koloseka preko rastavljača se napajaju samo susedne sekcije, dok idući prema prvom ili poslednjem koloseku svaka sekcija napaja sledeću tj. električna zavisnost je ista kao i kolosečna.

1.3.8 Električne karakteristike kontaktne mreže

Električne karakteristike kao što su impedansa, distribucija struje kolosek-zemlja definišu elemente za određivanje prenosa energije kontaktnom mrežom. Električni dimenzije kontaktnog voda i odgovarajuća zaštita potrebna za električnu instalacije i pogonska oprema projektovani su u skladu sa procenom električne energije koja se prenosi preko ove mreže. Kada su karakteristike prenosa i snaga poznati, moguće je proceniti elektromagnetne i električne smetnje koje emituje kontaktna mreža, uz pretpostavku da se ponaša kao veoma dugačak provodnik postavljen blizu nivoa zemlje. Prividna snaga na spoju kontaktni provodnik pantograf dovodi se iz elektrovočne podstanice i iznosi $\bar{S} = \bar{U}_L \bar{I}_L^*$. Zbog pada napona u prenosnom sistemu kontaktne mreže napon U_L se razlikuje od napona na izlazu iz elektrovočne podstanice U_{evp} . Kako je standardima propisano da napon na mestu spoja lokomotivskog pantografa i elektrovočnog vozila mora biti unutar granica $19kV < U_L < 27.5kV$ veoma je važno oceniti promenu pada napona na dužini od EVP do mesta gde se nalazi elektrovočno vozilo. Za određene tipove kontaktne mreže i sastavnih provodnih elemenata uključujući i šine proračunski i eksperimentalno se određuje impedansa prenosnog sistema po jedinici dužine \bar{Z}' [$\frac{\Omega}{km}$]. Jedan način eksperimentalnog određivanja impedanse prikazan je na slici 18



Slika 18: Šema za eksperimentalno određivanje impedanse prenosa

Impedansa je pouzdanije određena kada je dužina L više puta veća od tranzicione dužine.

Tranziciona dužina predstavlja onu dužinu šine unutar koje se struja odvodi u okolnu zemlju i ponovo vraća u šinu kao posledica elektromagnetne indukciivne sprege. Ova dužina je između 5km i 8km. Da bi merenje bilo što približnije realnim uslovima neophodno je da mesto kratkog spoja bude $L > 2l_{tr}$ kao i da struje generatora budu što približnije realnim radnim vrednostima koje postoje u kontaktnoj mreži. Sam postupak merenja je potrebno ponoviti više puta u istim uslovima da bi nakon statističke analize odredili statistiki najverodostojniju vrednost podužne impedanse prenosa. Pokazivanjem vatmetra nalazimo vrednosti aktivne snage P , ampermetar pokazuje efektivnu vrednost struje I u mreži koja je na dužini L kratko spojena radi određivanja impedanse Z . Voltmetar pokazuje efektivnu vrednost napona napajanja. Na osnovu ovih vrednosti postupak određivanja impedanse je sledeći:

$$Z = \frac{U}{I} \quad Z' = \frac{Z}{L}$$

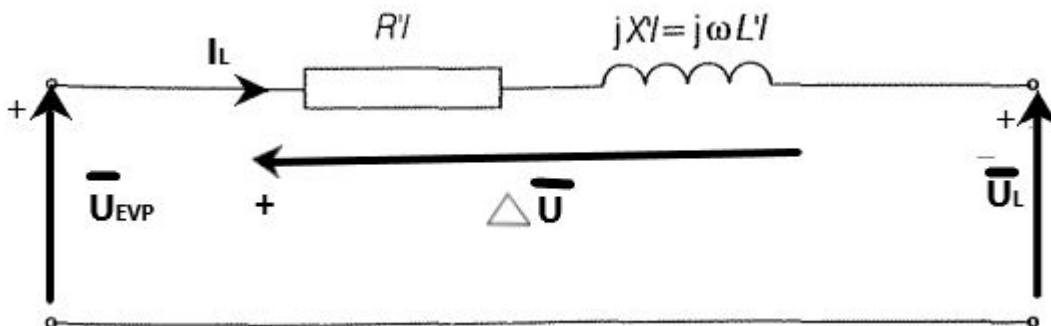
$$\cos \phi = \frac{P}{UI} \quad \phi = \arccos \frac{P}{UI}$$

$$R = Z \cos \phi \quad R' = \frac{R}{L}$$

$$X = Z \sin \phi \quad X' = \frac{X}{L}$$

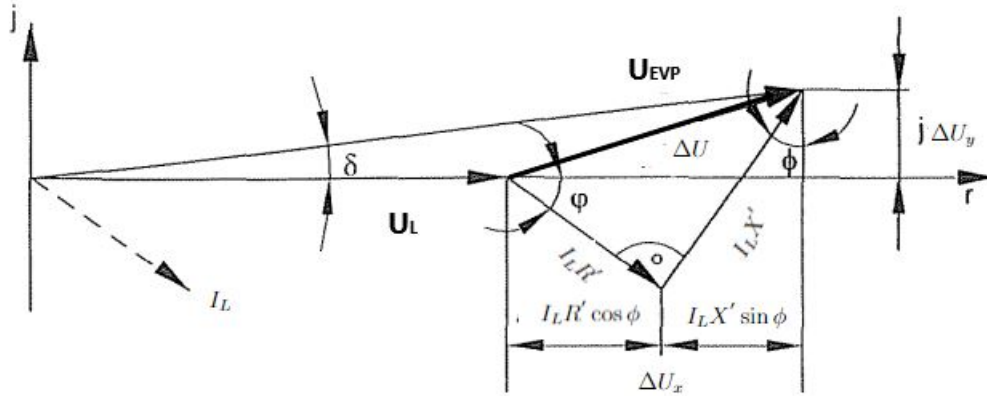
$$\overline{Z'} = R' + jX' = Z' e^{j\phi}$$

Prenos električne energije od podstanice do elektrovočnog vozila neizbežno dovodi do padova napona u mreži usled nezanemarljive impedanse prenosne mreže koja je eksperimentalno i teorijski određena za konkretnu mrežu. Ako na osnovu vučnih performansi i tehničkih karakteristika lokomotive poznamo struju koju lokomotiva preuzima iz mreže kao i fazni pomeraaj te struje prema naponu na mestu spoja pantografa i kontaktnog provodnika moguće je oceniti pad napona od elektrovočne podstanice do elektrovočnog vozila na liniji. Kako impedansa mreže linearno raste sa rastojanjem od elektrovočne podstanice, jasno je da se kritični uslovi vezani za pad napona javljaju na kraju podstaničnog sektora. Ako posmatramo jedno vozilo na kontaktnoj mreži koje se udaljava od elektrovočne podstanice, električna šema sistema elektrovočna podstanica -prenosna (kontaktna) mreža-elektrovočno vozilo se može predstaviti kao na slici 19.



Slika 19: Model sistema EVP-KM-EVV

Fazorski dijagram električnih veličina sa slike 19 prikazan je na slici 20 ΔU predstavlja fazor pada napona;ije su komponente duž realne i imaginarne ose ΔU_x i ΔU_y .



Slika 20: Fazorski dijagram napona u sistemu EVP-KM-EVV

Pretpostavimo da je poznata jedinična vrednost impedanse ' kontaktne mreže. Elektro-
vučno vozilo koje se nalazi na rastojanju L od podstanice uzima preko pantografa struju iz
kontaktne mreže I . Poznat je fazni pomeraj ϕ struje I_L prema naponu U_L . Kada su navedene
vrednosti poznate pad napona između podstanice i vozila se određuje tako što se na osno-
vu poznatih vrednosti linijskog otpora i reaktanse odrede realna i imaginarna komponenta
jediničnog pada napona a zatim i $\overline{\Delta U}$. Prema slici 20 je:

$$\Delta U_x = LI_L (R' \cos \phi + X' \sin \phi) \quad (12)$$

$$\Delta U_y = LI_L (X' \cos \phi - R' \sin \phi) \quad (13)$$

$$\Delta U = \sqrt{\Delta U_x^2 + \Delta U_y^2} \quad (14)$$

Dalje je:

$$\sin \delta = \frac{\Delta U_x}{U_{EVP}} \quad (15)$$

$$U_L = U_{EVP} \sqrt{1 - \sin^2 \delta} - \Delta U_x \quad (16)$$

Napon U_L mora se nalaziti unutar opsega koji je propisan standardom i koji za sistem
električne vuče 25kV, 50Hz prikazan na slici 21

Sistem vuče	U_n V	$U_{min 2}$ V	$U_{min 1}$ V	$U_{max 1}$ V	$U_{max 2}$ V	$U_{max 3}$ V
AC 25kV 50 Hz	25 000	17 500	19 000	27 500	29 000	38 746

Slika 21: